水稻收穫時葉片之光學特性初探

◎農試所農藝系　吳惠如[1] 楊純明[2] 蘇慕容[3]

本項研究報告旨在初探水稻臺農67號收穫時葉片光學特性，以瞭解稻株葉片穿透比、反射比及吸收比之相對關係，並藉以比較劍葉及其下一位葉之光學特性差異和在光合代謝生理上之意義。根據初步試驗結果，發現稻株葉片對不同波長(段)入射光的反應不一，其穿透、反射及吸收的比例自不相等。一般言，在波長較短的紫外線波段(350-400nm)，超過90%以上的光能被葉片吸收，穿透及反射的比例甚低(均小於8%)；在可見光波段(400-740nm)，大部分的入射光能被葉片吸收(至少40%以上)，部分各別被穿透(小於25%)或反射(小於35%); 在波長較長的近紅外光波段(740-1100nm)，絕大部分的入射光被穿透(至少45%)或反射(大於50%)，被吸收的甚低(小於6%)。此一光學特性，無論劍葉或其下位葉表現類似，而其在反射比上的變化趨勢符合族群植被覆蓋之反射比曲線(Yang and Su, 1998a, 1998b)。試驗結果亦呈現稻株葉片對檢測波長範圍各波帶的穿透、反射及吸收關係和比例，其中劍葉之吸收比(46%)高於其下一位葉者(42%)，而穿透比及反射比則較低，若能另予試驗比對其光合作用速率及光合成產物量，將可驗證與解釋劍葉及其下一位葉對入射光源利用上之差異和驗證劍葉在稻株生產上的重要性。

一、前　言

水稻是臺灣地區最重要的糧食作物之一，米食更是臺灣民眾傳統食物。稻作栽培面積幾占全部耕地面積的一半，依據「臺灣農業年報」記載(臺灣農業年報, 1998)，1997年稻田面積約36.4萬公頃，稻穀產量200萬公噸，產值380億元。臺灣地區目前稻作栽培制度大致上採兩期稻作，一般而言，一

1 國立嘉義技術學院農業經營科一年級學生，1999年7月5日至8月1日在行政院農業委員會農業試驗所農藝系實習，本文為其實習成果報告。

2 行政院農業委員會農業試驗所農藝系副研究員，作物逆境研究室主持人

3 行政院農業委員會農業試驗所農藝系助理

期作水稻的生育期間南部地區爲一月上旬至六月中旬，中部地區爲二月中旬至六月中旬；二期水稻的生育期間，南部地區爲七月上旬至十月中旬，中部地區爲七月下旬至十一月中旬(楊，1999b)。氣象環境中的光照、日長、氣溫、風、雨水、相對濕度等氣候因子，被認爲與水稻的生育密切相關，並影響收穫物的產量與品質。其中，光照的質與量非僅牽動氣候的循環與變動，對水稻的生長與發育更是影響深遠。

太陽光是地球上生物生存及活動的主要起始能量來源，對植物而言，太陽光資源包括了光合作用直接利用的可見光以及具有間接農業意義的紅外線、紫外線在內的全部太陽光輻射。在光合作用上，光照的強弱會左右光合成速率，影響作物的生長、發育和產量。作物生產量中的根、莖、葉、果實、種子等器官，90%以上乃光合作用過程中形成的初級及次級合成產物的蓄積，係藉由光合作用將太陽光輻射的物理能量轉爲化學能量；另土壤無機物形成的乾物質占5-10%。因此，單位面積農作物產量的高低，取決於固定太陽光輻射能量的容量與效率。葉片爲水稻首要與主要的光合成工廠，因爲葉片角度與葉層的光透過率有關，多數研究認爲葉片近於直立狀態較佳，而近於水平角度的葉層光透率較小。於是，葉片短而直、葉片間互相遮蔭小者，受光態勢將有利於提高光合效率及穀粒充實。依相同原則做人爲調整時，可在插秧時採行適當行株距，以獲得妥當的群落葉片分佈，造成較佳的立體空間容納足夠的光源。

水稻各個生育期對光照的需求與利用不同，營養生長期間以擴增植體爲主，遮光(陰)對產量構成要素與產量影響甚微，但是將會阻礙植株的進展。生殖生長期間以繁衍子實爲目的，遮光對一穗穎花數有極大影響，並在穀粒成熟期間造成充實率降低而導致減產。稻株對光照的吸收與葉片的受光態勢及吸收效率有關，受光態勢爲品種特徵，受到遺傳控制；吸收效率則視葉片光學特性而定，同時受環境及遺傳雙重影響。文獻上甚少有針對水稻葉片光學特性進行研究者，因此究竟稻株葉片光學特性在生育期間如何改變，其與環境的互動關係如何變化，以及光學特性與生理代謝之直接與間接關連如何交感牽引，均有待深入探討與釐清。

作者爲瞭解水稻收穫時之葉片光學特性，特進行一簡單試驗，本文即爲此項試驗之結果報告。文中將初探收穫適期稻株劍葉及其下位葉之穿透比、反射比及吸收比，觀察對紫外光、可見光及近紅外光反應之差異，並比較不同葉位間之異同，作爲未來進一步研究之依據。

二、試驗方法摘要說明

從座落於臺中縣霧峰鄉之行政院農業委員會農業試驗所農場任選1999年一期稻作5株成熟稻株置入塑膠盆內，品種爲臺農67號(*Oryza sativa* L. cv. Tainung 67)，取回實驗室檢測劍葉(flag leaf)及其下位葉(the second to flag leaf)之光學特性(optical property)。檢測方法參考Yang & Su (1997, 1998a, 1998b)，摘述如次：利用model LI-1800之攜帶式

光譜儀(portable spectroradiometer, LI-COR Inc., Lincoln, Nebraska, USA)以LI-1800-10型石英光纖電纜(quartz fiber-optic probe)連接至LI-1800-12S型外接積分球儀(external integrating sphere)直接測定葉片之穿透比(transmittance, T)及反射比(reflectance, R)，再以A= 1-T-R公式計算吸收比(absorptance, A)，均取平均值爲代表値。

LI-1800型光譜儀可以檢測之波長範圍介於350-1100 nm波段，涵蓋包括紫外光(ultraviolet, UV; 350-400 nm)、可見光(visible, VIS; 400-740 nm)及近紅外光(near-infrared, NIR; 740-1100)等三波帶，波長間隔(解析度)爲2 nm，可獲得被測物之高光譜圖譜(hyper-spectral spectrum)。

將350-1100 nm波長範圍之穿透比、反射比及吸收比曲線繪製成圖，以觀察不同波長之變化，並比較紫外光、可見光及近紅外光等三波帶之相對關係。再將劍葉及其下位葉之曲線並列，以對比兩葉片在不同波長之光學特性差異。

三、結果與討論

稻株葉片光學特性是由其化學成分、組織結構及色素組成等共同決定，因此隨著生育進展而異，也將受到環境的影響。所謂光學特性，是指一物體接受入射光源(incident radiation)時光線穿透、反射及吸收的比例，對稻株葉片而言，可以由入射光線的穿透比、反射比及吸收比予以解釋與說明。由圖一水稻臺農67號光學特性圖譜顯示，稻株葉片對不同波長(段)入射光的反應不一，其穿透、反射及吸收的比例自不相等。一般言，在波長較短的紫外線波段(350-400 nm)，超過90%以上的光能被葉片吸收，穿透及反射的比例甚低(均小於8%); 在可見光波段(400-740nm)，大部分的入射光能被葉片吸收(至少40%以上)，部分各別被穿透(小於25%)或反射(小於35%);在波長較長的近紅外光波段(740-1100 nm)，絕大部分的入射光被穿透(至少45%)或反射(大於50%)，被吸受的甚低(小於6%)。此一光學特性，無論劍葉或其下位葉表現類似，而其在反射比上的變化趨勢符合族群植被覆蓋之反射比曲線(Yang and Su, 1998a, 1998b)。

繼由表一紫外光、可見光及近紅外光等三波帶之各別光學特性分析結果，確認稻株葉片對不同波帶入射光具有不等的穿透、反射及吸收比例。整體而言，紫外光的吸收比最高(劍葉94%，下一位葉95%)，穿透比及反射比均小於4%; 可見光的吸收比高於反射比及穿透比，劍葉又大於其下一位葉; 近紅外光多被反射(48-49%)或穿透(46-47%)，吸收比皆低於6%。楊(1999a)曾指出典型的水稻族群植被光譜隨著生育進展改變，全生育期光譜曲線在一變異區間內起伏; 變異量高低不僅受到周遭環境影響，不同波長的變異程度也不一，且水稻對入射光各波長的反應視波長特性而定。本試驗結果進一步呈現稻株葉片的光學特性，陳列出檢測波長範圍各波帶的穿透、反射及吸收關係，並釐清其比例。有趣的是，試驗結果顯示劍葉之吸收比(46%)高於其下一位葉者(42%)，而其穿透比及反射比則較低，若能另予

試驗比對其光合作用速率及光合成產物量，將可驗證與解釋劍葉及其下一位葉對入射光源利用上之差異。

圖二爲劍葉及其下一位葉光學特性的比較，詳細的併列此兩不同葉位水稻葉片在350-1100波長範圍內各波長之穿透比、反射比及吸收比間之差異，整體呈現其光學特性變化。由圖示，劍葉在可見光波帶之吸收比均大於其下一位葉，穿透比及反射比則反之。顯然的，劍葉對於可見光全部波長都有較大的吸收效果，如此將有助於提高本身的光合成效率供給穀粒充實所需的光合產物。此一光學上的特性，不但符合現實，也驗證了劍葉在稻株生產上的重要性。

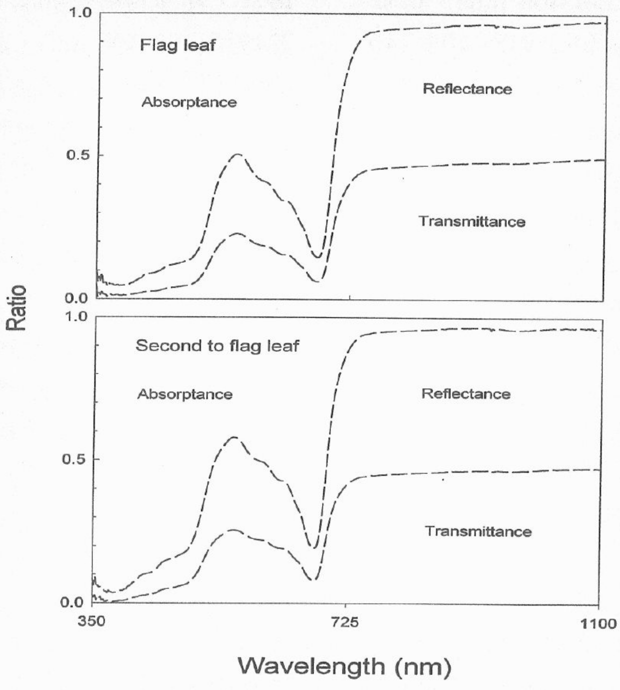
四、結　語

經由檢測作物葉片之光學特性，將可充分瞭解作物對於入射光源的最直接反應，釐清入射光穿透、反射及吸收之相對關係，並可進一步於解釋光合效率及光合產物之生成與蓄積。本文研究初次探討水稻在收穫時位於植冠(canopy)頂端之劍葉及其下一位葉的光學特性，提供了解釋劍葉在光合成及穀粒充實上的重要性佐證，也連結了單葉光學特性及族群光譜之相互關係。

表一、水稻台農67號植株劍葉及其次位葉在紫外光，可見光及近紅外光波段之平均穿透比、反射比及吸收比

波段	穿透比	反射比	吸收比
	%		
劍葉次位葉			
紫外光	1	4	95
可見光	28	29	42
近紅外光	46	49	5
劍葉			
紫外光	2	4	94
可見光	24	26	49
近紅外光	47	48	6

UV: 350-400 nm, VIS:400-740 nm, NIR:740-1100 nm



圖一、水稻台農67號收穫時植株劍葉及其次位葉之光學特性

未來若能繼續詳加探討稻株各位葉之光學特性，全生育期間之光學特性變化，不僅可利用於究明水稻光合代謝機制，更能延廣應用於光合成之模式化及稻株之生長模式，頗具研究價值與意義。

引用文獻

楊純明. 1999a. 第十章以遙測技術探討環境對水稻生產之影響. p.161-179. 環境與稻作生產. 楊純明主編. 臺灣省農業試驗所/中華農業氣象學會出版，臺中縣霧峰鄉. 191pp.

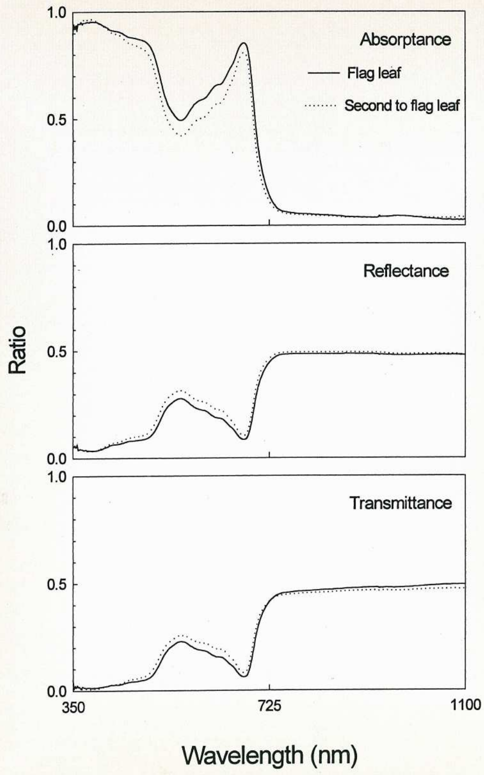
楊純明 主編. 1999b. 環境與稻作生產. 臺灣省農業試驗所/中華農業氣象學會出版, 臺中縣霧峰鄉. 191pp.

臺灣農業年報. 1998. p.24-25. 民國八十七年版臺灣農業年報. 臺灣省政府農林廳出版, 南投縣中興新村.

Yang, C.-M. and M.-R. Su. 1997. Analysis of reflectance spectrum of rice canopy. (in Chinese) Chinese J. Agromet. 4:87-95.

Yang, C.-M. and M.-R. Su. 1998a. Seasonal variations of reflectance spectrum and vegetation index in rice vegetation cover. p.574-593. In: Proceeding of the 3rd Asian Crop Science Conference. April 27-May 2, 1998. Chinese Society of Agronomy. Taichung, Taiwan.

Yang, C.-M. Yang and M.-R. Su. 1998b. Correlation of spectral reflectance to growth of rice vegetation. p.A-1-1-A-1-6. In: Proceedings of the 19th Asian Conference on Remote Sensing. November 16-20, 1998. National Mapping and Resource Information Authority and Asian Association on Remote Sensing. Manila, Phillipnes.



圖二、水稻台農67號收穫時植株劍葉及其次位葉光學特性之比較